

Тернопільський національний технічний
університет імені Івана Пулюя

Кафедра автоматизації
технологічних процесів
і виробництв

Лабораторна робота № 1
з курсу
”Гідрогазодинаміка”

Дослідження пристрою для
вимірювання різниці
тисків газових середовищ

Тернопіль 2018

Методичні вказівки до лабораторної роботи № 1 "Дослідження пристрою для вимірювання різниці тисків газових середовищ" з курсу "Гідрогазодинаміка". Шкодзінський О.К., Пісьціо В.П., Тернопіль: ТНТУ, 2018 - 10 с.

Для студентів напряму підготовки: 151 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології"

Автори: Шкодзінський О.К., Пісьціо В.П.

Розглянуто і затверджено на засіданні кафедри автоматизації технологічних процесів і виробництв (протокол № 1 від 29.08.2018 року)

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИСТРОЮ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ РІЗНИЦІ ТИСКІВ ГАЗОВИХ СЕРЕДОВИЩ

Мета роботи: вивчення основних законів статки рідин та газів.

1. Короткі теоретичні відомості

Тиском у нерухомій рідині називається напруження стиску (рис. 1)

$$p_A = \lim_{\Delta F \rightarrow \infty} \frac{\Delta P}{\Delta F}, \quad (1)$$

де p_A – тиск у точці A ; ΔF – елементарна площадка, що містить точку A ; ΔP – стискаюча сила, що діє на площадку ΔF .

Тиск спрямований по нормалі до площадки, його величина не залежить від орієнтації площадки в просторі і є функцією координат точок рідини:

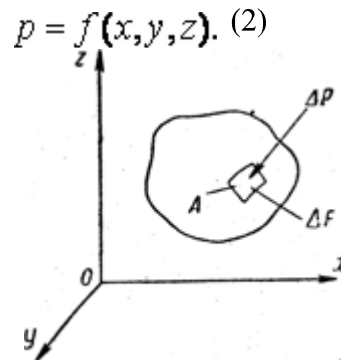


Рис.1

У міжнародній системі одиниць фізичних величин одиницею виміру тиску є 1 Н/м^2 – паскаль (Па). Зручнішими для практичного використання є кратні одиниці – кілопаскаль (кПа) і мегапаскаль (МПа):

$$1 \text{ кПа} = 10^3 \text{ Па}; 1 \text{ МПа} = 10^6 \text{ Па}.$$

Тиск, що представляє повне напруження стиску від дії всіх зовнішніх сил (поверхневих і масових), прикладених до рідини, називається абсолютним тиском.

У техніці зручно відраховувати тиск від умовного нуля, за який приймається тиск атмосферного повітря, на поверхні землі приблизно рівний 100 кПа.

У цьому випадку величина тиску показує надлишок абсолютного тиску p над атмосферним p_{at} і називається надлишковим тиском p_n .

$$p_n = p - p_{at}. \quad (3)$$

Надлишковий тиск від'ємний, якщо абсолютний тиск менший від атмосферного. Недостача тиску до атмосферного називається вакуумом p_v , який виражається співвідношеннями:

$$p_v = p_{at} - p, \quad (4)$$

або

$$p_v = -p_n. \quad (5)$$

В однорідній нестисливій нерухомій рідині, яка знаходиться під дією сили тяжіння (рис. 2), тиск наростає з глибиною за законом

$$p_2 = p_1 + \rho gh, \quad (6)$$

де p_1 – тиск у довільній точці 1 рідини; p_2 – тиск у точці 2 на глибині h , відносно від рівня точки 1; r – густина рідини; g – прискорення вільного падіння.

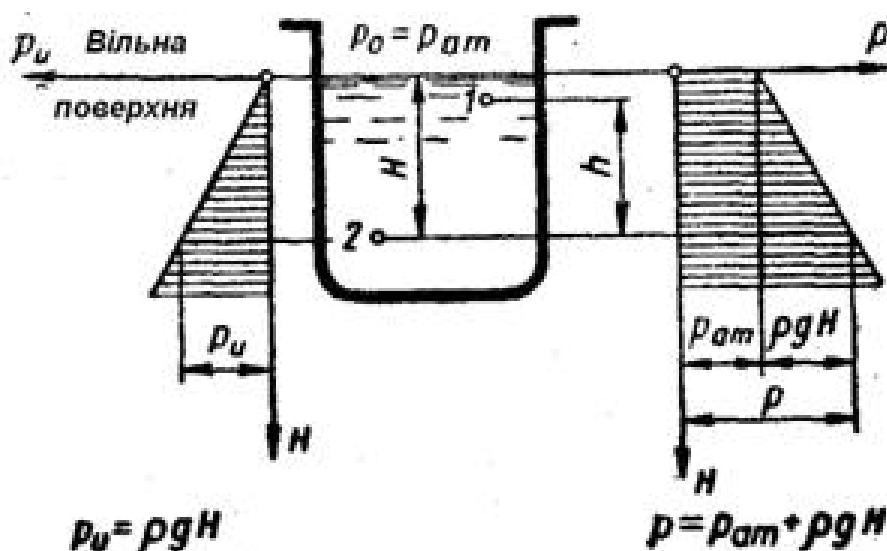


Рис.2

Ця залежність представляє основний закон рівноваги рідини в однорідному полі сили тяжіння.

Поверхнями рівня (поверхнями рівного тиску) у розглянутому випадку рівноваги рідини є горизонтальні площини.

При визначенні тиску в точках рідини, що заповнює відкриту в атмосферу посудину, зручно в якості початкової точки 1 брати точку на вільній поверхні, де відомий діючий на рідину зовнішній тиск, рівний атмосферному p_{atm} .

У цьому випадку абсолютний тиск у довільній точці рідини

$$p = p_{atm} + \rho g H, \quad (7)$$

де H – глибина розташування точки під рівнем рідини.

Надлишковий тиск, створюваний у даному випадку тільки вагою рідини

$$p_x = \rho g H, \quad (8)$$

Так, для води ($r=1000 \text{ кг/м}^3$) надлишковий тиск глибині $H=10 \text{ м}$ дорівнює (при $g=9,81 \text{ м/с}^2$) $p_n=98,1 \text{ кПа}$.

Формула (8) дає можливість виражати надлишковий тиск у будь-якій точці рідини п'єзометричною висотою, тобто величиною H занурення даної точки під п'єзометричною площиною – площиною атмосферного тиску, що проходить через рівень у п'єзометрі, приєднаному до посудини (рис. 3).

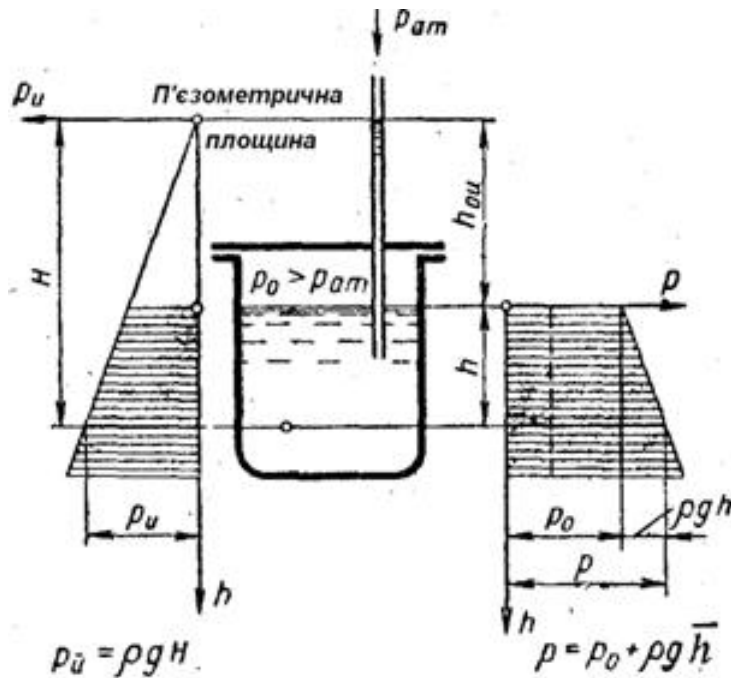


Рис. 3

У випадку закритої посудини з надлишковим тиском на поверхні рідини (діючий на рідину зовнішній тиск p_0 більший від навколишнього атмосферного тиску p_{atm}) п'єзометрична площина знаходиться вище вільної поверхні рідини на

$$h_{0н} = \frac{p_0 - p_{atm}}{\rho g} = \frac{p_{0н}}{\rho g}, \quad (9)$$

де $p_{0н}$ – надлишковий тиск на поверхні рідини.

У випадку вакууму на вільній поверхні ($p_0 < p_{atm}$) п'єзометрична площина розташовується нижче поверхні рідини на величину

$$h_{0в} = \frac{p_{atm} - p_0}{\rho g} = \frac{p_{0в}}{\rho g}, \quad (10)$$

де $p_{0в}$ – вакуум на поверхні рідини (рис. 4).

Будь-які задачі на визначення тиску в нестискуваній рідині можуть бути вирішені за допомогою рівнянь, що виражають:

- 1) умову рівноваги рідини;
- 2) умову рівноваги твердого тіла, на яке діє сила тиску з боку рідини;
- 3) умова сталості об'ємів рідини в розглянутій системі при її переході з одного рівноважного стану в інший. При наявності в системі газу, об'єм якого змінюється зі зміною рівноваги системи, до перерахованих вище рівнянь додається рівняння стану газу.

Для ілюстрації розглянемо деякі приклади.

Приклад 1 (рис. 5). Визначити тиск газу в балоні по показах h дворідинного чашкового мікроманометра, заповненого рідинами з густинами r_1 і r_2 , якщо задано відношення діаметрів трубки і чашки приладу d/D .

Для визначення тиску насамперед застосуємо закон рівноваги нестисливої рідини, з якого випливає, що в рідині r_2 на рівні I–I тиск у трубках манометра однаковий.

$$p_e = (\rho_2 - \rho_1)gh + \rho_1 g \frac{d^2}{D^2} h. \quad (15)$$

Якщо $d \ll D$, можна прийняти

$$p_e = (\rho_2 - \rho_1)gh.$$

Підбором незмішуваних рідин із близькими значеннями густини можна одержати достатньо великі покази h приладу при вимірі малих величин надлишкового тиску або вакууму в газі.

Приклад 2 (рис. 6). Заповнений атмосферним повітрям тонкостінний колокол, діаметром D і висотою H , опускається у воду під дією власної ваги.

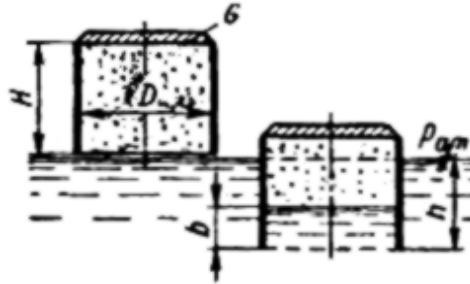


Рис.6

Вважаючи закон стиснення повітря під колоколом ізотермічним, знайти залежність між глибиною h занурення колоколу і його вагою G .

Позначимо надлишковий тиск повітря в зануреному колоколі p_n , а висоту його заповнення водою b . Складемо рівняння рівноваги колоколу

$$p_n \frac{\pi D^2}{2} = G \quad (16)$$

і рівняння рівноваги рідини

$$p_n = \rho g (h - b). \quad (17)$$

Рівняння ізотермічного процесу стиснення повітря

$$(p_n + p_{atm}) \frac{\pi D^2}{4} (H - b) = p_{atm} \frac{\pi D^2}{4} H, \quad (18)$$

де p_{atm} – початковий атмосферний тиск у колоколі.

Отримані рівняння містять три невідомих: p_n , h , b .

Підставляючи p_n із рівняння (16) і b з рівняння (18) у (17), одержимо шукану залежність

$$h = \frac{1}{\rho g} \frac{G}{\frac{\pi D^2}{4}} + \frac{\frac{G}{\frac{\pi D^2}{4}} H}{\frac{G}{\frac{\pi D^2}{4}} + p_{atm}}. \quad (19)$$

З рівняння (19) можна знайти максимальну вагу колоколу G_{\max} при якій він повністю зануриться у воду. Приймавши $h=H$, одержимо

$$G_{\max} = \frac{\pi D^2}{4} \left[\sqrt{p_{\text{ам}} \left(\frac{1}{4} p_{\text{ам}} + \rho g h \right)} - \frac{1}{2} p_{\text{ам}} \right]. \quad (20)$$

2. Опис досліджуваного приладу для вимірювання різниці тисків газових середовищ

Прилад для вимірювання різниці тиску в газах складається з посудини A , наповненої до деякого рівня ртуттю, і плаваючого в ртуті колоколу B . Більший тиск p_1 підводиться під колокол, менший p_2 в порожнину над колоколом. При рівності тисків $p_1 = p_2$ колокол займає певне початкове положення, з якого зміщається вгору під дією різниці тисків.

Встановимо залежність між підйомом колоколу t і різницею тисків $p_1 - p_2$ при розмірах посудини і колоколу, вказаних на рис. 7, а.

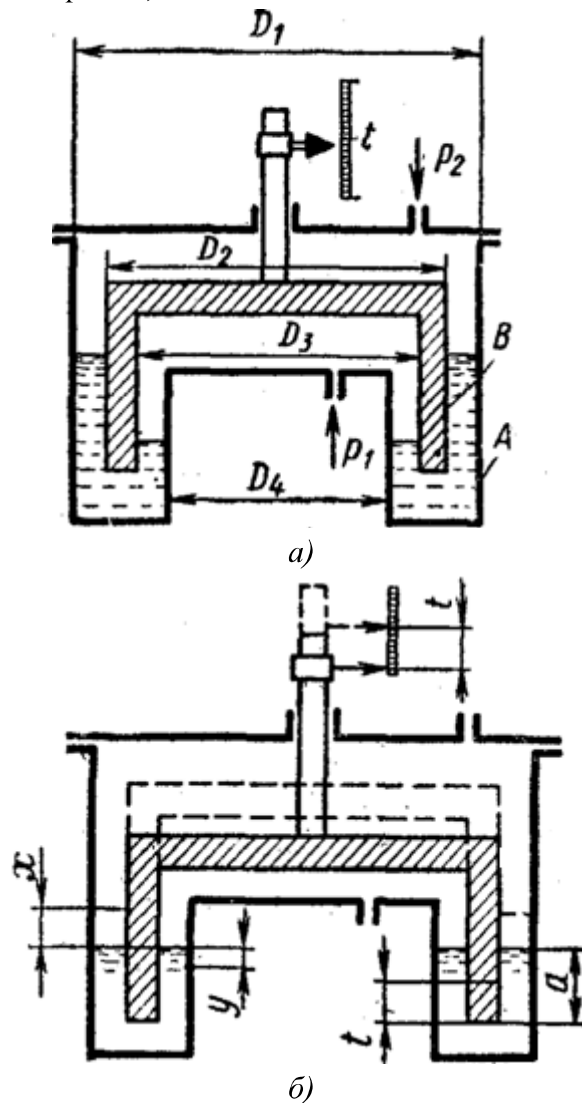


Рис. 7. Схема пристрою для вимірювання різниці тисків

Позначимо початкове (при $p_1 = p_2$) занурення колокола через a , величину опускання рівня ртуті в середині колоколу (при $p_1 > p_2$) через y і величину підняття рівня ртуті зовні колоколу при цьому через x .

Скористаємося рівнянням рівноваги ртуті в приладі

$$p_1 = p_2 + \rho g(x + y) \quad (21)$$

(де ρ – густина ртуті) і рівнянням рівноваги колокола

$$p_1 \frac{\pi D_3^2}{4} + [p_1 + \rho g(a - y - t)] \frac{\pi(D_2^2 - D_3^2)}{4} = G + p_2 \frac{\pi D_2^2}{4},$$

де G – вага колоколу.

Оскільки за умовою рівноваги колоколу в початковому положенні

$$G = \rho g a \frac{\pi}{4} (D_2^2 - D_3^2)$$

отримаємо

$$p_1 \frac{\pi D_2^2}{4} - \rho g(y + t) \frac{\pi(D_2^2 - D_3^2)}{4} = p_2 \frac{\pi D_2^2}{4}. \quad (22)$$

Умова сталості об'єму ртуті в приладі дає:

$$\frac{\pi(D_3^2 - D_4^2)}{4} y = \frac{\pi(D_2^2 - D_3^2)}{4} t + \frac{\pi(D_1^2 - D_2^2)}{4} x. \quad (23)$$

Отримана система трьох рівнянь (21)-(23), що містять чотири змінних величини (p_1-p_2), x , y , t дозволяє виключити дві проміжні змінні x і y і отримати шукане співвідношення між t і (p_1-p_2):

$$t = \frac{p_1 - p_2}{\rho g} \frac{D_3^2 D_1^2 - D_2^2 D_4^2}{(D_1^2 - D_4^2)(D_2^2 - D_3^2)}$$

Необхідно відмітити лінійність шкали приладу, масштаб якої можна змінювати вибором відповідних діаметрів.

3. Хід роботи

1. Вибрати з табл. 1 конструктивні параметри пристрою для вимірювання різниці тисків.
2. Запустити файл GGDLab1.exe на виконання.
3. Оглянути схему пристрою і натиснути кнопку “ОК”.
4. Для того щоб приступити до виконання лабораторної роботи потрібно успішно скласти тестування.
5. Для початку тестування потрібно натиснути кнопку “Почати тест”.
6. Прочитати запитання і вибрати правильні відповіді із запропонованих, натиснути кнопку “Ввід”.
7. Комп'ютер повідомить про те чи ви дали правильну відповідь.
8. Для продовження натиснути кнопку “Наступне запитання”
9. Продовжити тестування поки не з'явиться кнопка “Кінець, натиснути її після чого на екрані з'явиться повідомлення про допуск до роботи. Якщо ви не пройшли тестування потрібно з дозволу викладача спробувати ще раз.
10. Встановити закладку “Задача” і натиснути кнопку “Розрахунок”.
11. Записати значення зміни положення колоколу t .
12. Встановити закладку “Графік залежності” і перенести на міліметровий папір графік залежності $t(P_1-P_2)$.

4. Структура звіту по лабораторній роботі

1. Назва роботи.
2. Мета роботи.

3. Короткі теоретичні відомості.
4. Результати досліджень пристрою для вимірювання різниці тисків.
5. Висновки.

5. Контрольні запитання

1. Питома маса і питома вага рідин та газів, її властивості.
2. Стисливість і пружність рідин та газів.
3. В'язкість рідин та газів. Види в'язкості, одиниці та методи вимірювання. Неньютонівські рідини.
4. Розчинність газів у рідинах. Кипіння. Кавітація.
5. Основне рівняння рівноваги рідини.
6. Геометричне і фізичне тлумачення основного закону гідростатики.
7. Визначення сил тиску рідини на плоскі стінки посудини та положення точок їх прикладання.
8. Визначення сил тиску рідини на криволінійні поверхні.
9. Прямолінійний рівноприскорений рух посудини з рідиною.
10. Рівномірне обертання посудини з рідиною.

6. Література

1. Левицький Б.Ф, Лещій Н.П. Гідр авліка. Загальний курс. – Львів: Світ 1994. – 264 с.
2. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы: Учебник для машиностроительных вузов / Т.М.Башта, С.С.Руднев, Б.Б.Некрасов и др. – М.: Машиностроение, 1982. – 423 с.
3. Справочник по гидравлике / Под ред. В.А.Большакова. – К.: Вища школа. Головное изд-во, 1984. – 343 с.
4. Задачник по гидравлике, гидромашинам и гидроприводу. Учебное пособие для вузов / Под ред. Б.Б.Некрасова. – М.: Высшая школа, 1989. – 192 с.
5. Сборник задач по машиностроительной гидравлике / Под ред. И.И.Куколевского и Л.Г.Подвидза. – М.: Машиностроение, 1981. – 367 с.